

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-223433

(43)Date of publication of application : 17.08.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/183

(21)Application number : 2000-057254

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 02.03.2000

(72)Inventor : JIKUTANI NAOTO

(30)Priority

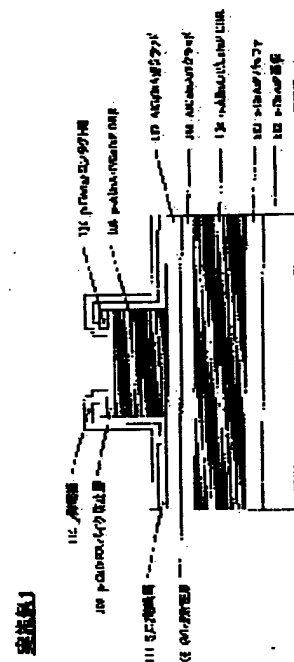
Priority number : 11339267 Priority date : 30.11.1999 Priority country : JP

(54) VERTICAL CAVITY SEMICONDUCTOR SURFACE EMISSION LASER ELEMENT AND OPTICAL SYSTEM USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a vertical cavity semiconductor surface emission laser element having good characteristics which oscillates in a 630 nm to 660 nm wavelength range and also provide various optical systems using the same.

SOLUTION: Laser oscillation light is emitted from an opening of a p-side electrode 112. The thickness of each layer constituting DBRs 104, 108 is set to an integer times as large as an optical distance $\lambda/4$, and the thickness of clad regions 107, 105 including an active layer 106 is set to an integer times as large as an optical distance $\lambda/2$. For the active layer 106, GaInAsP of such a composition as to provide oscillation light of 635 nm wavelength is used. In part of each DBR, AlInAsP including As in its composition is used. As a result, there are no hillocks generated on the grown surface and a uniform interface can be formed, which improves the characteristics of each DBR, reduces the number of laminations, reduces the resistance of the element, and improves element characteristics such as an oscillation threshold current value and the life. By using this laser element as a light source, various optical systems of a high performance can be realized.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.11.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-223433
(P2001-223433A)

(43) 公開日 平成13年8月17日 (2001.8.17)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 S 5/183

識別記号

F I

H 0 1 S 5/183

テーマコード(参考)

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2000-57254(P2000-57254)

(22) 出願日 平成12年3月2日 (2000.3.2)

(31) 優先権主張番号 特願平11-339267

(32) 優先日 平成11年11月30日 (1999.11.30)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 輪谷 直人

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
会社リコー内

(74) 代理人 100077274

弁理士 磯村 雅俊 (外1名)

Fターム(参考) 5F073 AA65 AB17 BA01 BA04 BA09

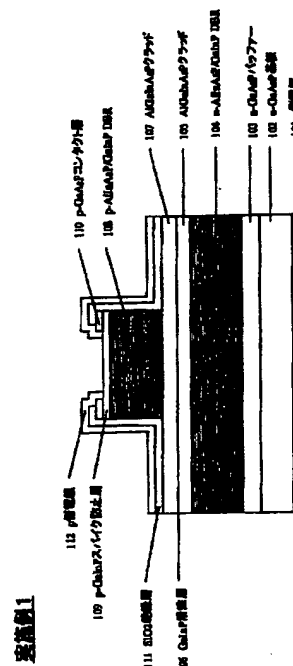
CA13 CB02 CB07 DA05 EA23

(54) 【発明の名称】 垂直空洞半導体面発光レーザ素子および該レーザ素子を用いた光学システム

(57) 【要約】

【課題】 630nm~660nm波長帯で発振する特性のよい垂直空洞半導体面発光レーザ素子、および該レーザ素子を用いた各種光学システムの提供。

【解決手段】 レーザ発振光は、p側電極112の開口部分から出射される。DBR104、108を形成する各層の厚さはそれぞれ $\lambda/4$ 光学距離に、活性層106を含むグラッド領域107、105の厚さは $\lambda/2$ 光学距離の整数倍に形成されている。活性層106は635nmの発振光が得られる組成のGaInAsPを用いる。またDBRの一部にはAsを組成に含むAlInAsPを用いている。これにより、成長表面にヒロックの発生はなく、均一な界面が形成された。その結果DBRの特性が向上し、積層数を減少することができた。また素子抵抗は減少し、発振閾値電流および素子寿命などの素子特性が向上した。またこのレーザ素子を光源に用いることにより高性能の各種光学システムを実現できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、分布ブラッグ反射器を構成している2種の半導体層の内、少なくとも1つが $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}In_{1-y}As_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0.5 \leq y \leq 1$, $0 < z < 1$) 層から構成されたことを特徴とする垂直空洞半導体面発光レーザ素子。

【請求項2】 分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、活性層が $Ga_yIn_{1-y}As_zP_{1-z}$ ($0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$) 半導体層から形成されていることを特徴とする垂直空洞半導体面発光レーザ素子。

【請求項3】 分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、活性層の両側に $Ga_yIn_{1-y}P$ ($0.5 \leq y \leq 1$) 半導体層が設けられていることを特徴とする垂直空洞半導体面発光レーザ素子。

【請求項4】 分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、該分布ブラッグ反射器の上面に電極が設けられ、該分布ブラッグ反射器の上面から発振光を取り出す垂直空洞半導体面発光レーザ素子であって、該電極と導通を取るための半導体層が発振光に対して透明であることを特徴とする垂直空洞半導体面発光レーザ素子。

【請求項5】 分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、該分布ブラッグ反射器が $AlAs_zP_{1-z}$ ($0 \leq z \leq 1$) 半導体層を含んでいることを特徴とする垂直空洞半導体面発光レーザ素子。

【請求項6】 分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、該分布ブラッグ反射器が $AlAs_zP_{1-z}$ ($0 \leq z \leq 1$) 半導体層を含み、該 $AlAsP$ 層が選択酸化工程によって電流狭窄構造を形成していることを特徴とする垂直空洞半導体面発光レーザ素子。

【請求項7】 分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、該分布ブラッグ反射器と、活性層の間に $AlAs_zP_{1-z}$ ($0 \leq z \leq 1$) 半導体層を含み、該 $AlAsP$ 層が選択酸化工程によって電流狭窄構造を形成していることを特徴とする垂直空洞半導体面発光レーザ素子。

【請求項8】 請求項1～7のいずれか1項に記載の垂直空洞半導体レーザ素子において、光出射面を基板側としたことを特徴とする垂直空洞半導体レーザ素子。

【請求項9】 請求項8に記載の垂直空洞半導体レーザ素子において、GaAsP半導体基板が用いられ、該半導体基板と分布ブラッグ反射器の間にGaInAsP層が設けられていることを特徴とする垂直空洞半導体レーザ素子。

【請求項10】 請求項8に記載の垂直空洞半導体レーザ素子において、GaAsP半導体基板が用いられ、該半導体基板と分布ブラッグ反射器の間にGaInP層が

設けられていることを特徴とする垂直空洞半導体レーザ素子。

【請求項11】 請求項1～10のいずれか1項に記載の垂直空洞半導体レーザ素子を光源に用いたことを特徴とする光学システム。

【請求項12】 前記光学システムが、電子写真システムであることを特徴とする請求項11記載の光学システム。

【請求項13】 前記光学システムが、光情報記録装置であることを特徴とする請求項11記載の光学システム。

【請求項14】 前記光学システムが、光通信システムであることを特徴とする請求項11記載の光学システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光記録および読み出し用光源、発光表示装置などに使用して好適な垂直空洞半導体面発光レーザ素子、および該垂直空洞半導体面発光レーザ素子を光源に用いたレーザプリンタ装置などの電子写真システム、光情報記録装置、あるいは光インターコネクションを含む光通信システムなどの光学システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 基板に対して垂直方向に発光、発振する垂直空洞面発光型半導体レーザ素子は効率がよく、ビーム特性、縦モード特性に優れている。さらに、2次元アレイ化に適していることから、光インターコネクションやプリンタ光源などへの応用が研究されている。例えば、波長630～650nmの赤色可視領域では高密度光ディスク、レーザプリンタ用光源として注目を浴びている。

【0003】 面発光レーザ素子は、端面発光型レーザと比べて共振器長が短いことから高い共振器反射率が必要とされ、共振器ミラーとして100%近い反射率が得られる分布ブラッグ反射器(DBR: Distributed Bragg Reflector)が用いられている。DBRは、屈折率の異なる2種の半導体層(または誘電体層)をそれぞれ発振波長の1/4の光学距離に交互に積層して作られている。

【0004】 DBRでは2種の半導体層の屈折率差が大きい程少ない積層数で高反射率が得られる。また、共振器による吸収損失を低減し効率を向上させるためにDBRを構成する半導体層は発振光に対し透明であることが必要である。

【0005】 従来の630～650nm波長帯の半導体レーザ材料であるAlGaInP系材料による面発光レーザ素子では、GaAs基板上にGaInPからなる活性層、AlGaInPからなる高屈折率層とAlInPからなる低屈折率層で構成されたDBRが設けられてい

10

20

30

40

50

る。

【0006】Alを含む半導体材料ではAl組成の増加に伴ってワイドギャップ化し屈折率が小さくなるので、屈折率差から考えるとAlInPとGaInPによってDBRを構成することが望ましい。しかし、前述の630～650nm波長帯では反射器を構成するGaInPは発振光に対して透明ではなく吸収損失が生じ、共振器効率が低下してしまうという問題がある。

【0007】図9はGaInPとAlInPの格子定数とバンドギャップエネルギーの関係を示した図であり、伝導帯Γ点および伝導帯X点と価電子帯頂上とのバンドギャップエネルギーをそれぞれ示している。同図に示されるように、これらの材料では格子定数の減少に伴ってバンドギャップエネルギーが増加している。

【0008】特開平9-199793号公報に記載された発明では、DBRによる吸収損失を低減するためにGaAs半導体基板上に基板より格子定数が小さい、格子不整を有したAlInP/GaInPからなる積層構造と、AlGaAs/GaAsからなる積層構造を組み合わせてDBRを作製している。上記発明ではGaAs半導体基板上に、先ずAlGaAs/GaAsより構成されるDBRを設け、これとの格子不整を解消するための組成傾斜層を挟んでGaInP/AlInPからなるDBR、この上部に組成傾斜クラッド層、およびGaInP活性層、さらに、活性層に対称に同様の組成傾斜クラッド層、およびDBR層を設けている。

【0009】この特開平9-199793号公報に記載された発明は、可視領域の光吸収を低減し、共振器効率を向上させることを目的としており、2種の材料系を用いている理由は、AlGaInP結晶が格子不整を有していることと、後述するように同材料を結晶性よく成長することが困難であることによる。つまり、光強度が大きい活性層近辺では吸収の少ないAlGaInP系材料でDBRを形成し、活性層から離れた部分では、積層数の増加による結晶性の低下を防止するためにAlGaAs系材料によってDBRを形成している。

【0010】また、別の従来技術として、特開平10-200202号公報に、GaInP基板上に形成される垂直空洞面発光レーザが開示されている。この公報に開示されている垂直空洞面発光レーザでは、Ga_{0.75}In_{0.25}P基板上に、これと格子整合するAlInP/GaInP DBR、およびGaInPからなる活性層を設けた例が示されており、格子不整による結晶性低下の問題を改善している。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上記特開平9-199793号公報に記載された素子では、格子定数を変化させるために素子内に格子定数の異なるDBRを複数有しており、さらに基板に対して格子不整となるDBRは20ペア（40層）と厚さが厚いために、たとえ格子不整

解消層を用いても良質の結晶を得ることは難しい。

【0012】また、上記特開平10-200202号公報に記載されたレーザ素子は、基板格子定数をGaAsよりも小さく選ぶことにより、635～650nm波長帯に対して吸収のないGaInP層を格子整合させているが、AlInPまたはGaInPなどの材料系はAlまたはGa組成の増加に伴って、つまり格子定数が小さくなるに従って、丘状欠陥などが発生しやすいという問題があり、この根本的解決には至っていない。丘状欠陥などの発生はAl組成の増加に対して顕著であって、AlInP半導体材料においては特に問題となる現象である。このような丘状欠陥はヘテロ界面の均一性を著しく悪くし光散乱による損失を増大させるので、DBRの共振器効率を劣化させる原因となる。

【0013】また、上記特開平10-200202号公報に記載された発明では、活性層材料にGaInP半導体を用いているため、630～650nmの発振波長を得る際に基板として用いることのできる格子定数が制限されている。つまり、GaAsに格子整合するGaInPの波長は650nm程度であり、これより格子定数の小さいGaInPでは格子定数の減少に伴って短波となる。従って、上述の発振帯域を得るにはGa組成を小さくして長波化する必要がある。しかし、Ga組成を小さくすることで圧縮歪みが導入される。従って、結晶性などを考慮すると基板に用いることのできる格子定数はGaAsに近い値に制限されてしまい設計の自由度は小さい。

【0014】この他にも素子部の格子定数が従来のGaAsの値から変化することで、素子を形成する各層の材料設計、選択が可能な混晶材料も変化する。これによって、従来、材料の格子定数に制限されていた素子特性は改善が可能となる。特開平10-200202号公報の素子は、主にDBRによる吸収損失の改善のみについて考案されたものであって、他の特性の改善については何ら言及されていない。以上の問題を含め、GaAsとGaPの間の格子定数を有する面発光レーザ素子の特性は改善の余地がある。

【0015】本発明の目的は、上述した事情に鑑みてなされたものであり、請求項1～10記載の発明の目的は、主に、630nm～660nm波長帯で発振する特性を改善した垂直空洞半導体面発光レーザ素子を提供することであり、請求項11～14記載の発明は、これらの垂直空洞半導体面発光レーザ素子を光源に適用した各種光学システムを提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、分布ブラッグ反射器を構成している2種の半導体層の内、少なくとも1つが(Al_xGa_{1-x})_{1-y}

$I n_{1-y} A s_z P_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0.5 \leq y \leq 1$, $0 < z < 1$) 層から構成されたことを特徴としている。

【0017】請求項2記載の垂直空洞半導体面発光レーザー素子は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、活性層がGa_xIn_{1-x}As_zP_{1-z} ($0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$) 半導体層から形成されていることを特徴としている。

【0018】請求項3記載の垂直空洞半導体面発光レーザー素子は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、活性層の両側にGa_yIn_{1-y}P ($0.5 \leq y \leq 1$) 半導体層が設けられていることを特徴としている。

【0019】請求項4記載の垂直空洞半導体面発光レーザー素子は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、該分布ブラッグ反射器の上面に電極が設けられ、該分布ブラッグ反射器の上面から発振光を取り出す垂直空洞半導体面発光レーザー素子であって、該電極と導通を取るための半導体層が発振光に対して透明であることを特徴としている。

【0020】請求項5記載の垂直空洞半導体面発光レーザー素子は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、該分布ブラッグ反射器がAlAs_zP_{1-z} ($0 \leq z \leq 1$) 半導体層を含んでいることを特徴としている。

【0021】請求項6記載の垂直空洞半導体面発光レーザー素子は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、該分布ブラッグ反射器がAlAs_zP_{1-z} ($0 \leq z \leq 1$) 半導体層を含み、該AlAsP層が選択酸化工程によって電流狭窄構造を形成していることを特徴としている。

【0022】請求項7記載の垂直空洞半導体面発光レーザー素子は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、該分布ブラッグ反射器と、活性層の間にAlAs_zP_{1-z} ($0 \leq z \leq 1$) 半導体層を含み、該AlAsP層が選択酸化工程によって電流狭窄構造を形成していることを特徴としている。

【0023】請求項8記載の垂直空洞半導体面発光レーザー素子は、請求項1～7のいずれか1項に記載の垂直空洞半導体レーザー素子において、光出射面を基板側としたことを特徴としている。

【0024】請求項9記載の垂直空洞半導体レーザー素子は、請求項8に記載の垂直空洞半導体レーザー素子において、GaAsP半導体基板が用いられ、該半導体基板と分布ブラッグ反射器の間にGaInAsP層が設けられていることを特徴としている。

【0025】請求項10記載の垂直空洞半導体レーザー素子は、請求項8に記載の垂直空洞半導体レーザー素子において、GaAsP半導体基板が用いられ、該半導体基板と分布ブラッグ反射器の間にGaInP層が設けられて

いることを特徴としている。請求項11記載の光学システムは、請求項1～10のいずれか1項に記載の垂直空洞半導体レーザー素子を光源に用いたことを特徴としている。

【0026】請求項12記載の発明は、前記光学システムが電子写真システムであり、請求項13記載の発明は、前記光学システムが光情報記録装置であり、請求項14記載の光学システムは光通信システムであることを特徴としている。

【0027】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を各請求項に対応させて詳細に説明する。

＜実施例1＞実施例1は、請求項1記載の垂直空洞半導体面発光レーザー素子の実施例である。請求項1記載の発明は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、分布ブラッグ反射器を構成している2種の半導体層の内、少なくとも1つを、(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}As_zP_{1-z} ($0 \leq x \leq 1$, $0.5 \leq y \leq 1$, $0 < z < 1$) 層から構成したものである。

【0028】請求項1記載の発明は、分布ブラッグ反射器を構成している2種の半導体層の内、少なくとも1つを、(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}As_zP_{1-z} ($0 \leq x \leq 1$, $0.5 \leq y \leq 1$, $0 < z < 1$) 層で構成することにより、以下のような効果を奏する。すなわち、図9に示したように、AlGaInAsP半導体材料は格子定数の減少に伴ってバンドギャップエネルギーが増大する。従って、この領域の格子定数を有するDBRは630～650nm波長帯の発振光に対して光吸収を生じない。よって導波損失は低減する。さらに組成にAsを含んでいることにより、DBRを構成する半導体層の丘状欠陥、界面のうねりを低減することができる。これによって高いDBRの到達反射率を達成することが可能となる。

【0029】AlInPやAlGaInPなどの半導体混晶では、Al組成の増加に伴って丘状欠陥などの表面欠陥、または成長表面のうねりが顕著になる傾向がある。これは(100)面から面方位が傾斜した基板を用いたり、成長温度を高温化するなどの手法によってある程度の低減はできるものの、完全な抑制は難しい。

【0030】しかし、本願の発明者らの実験によれば、AlGaInP半導体混晶にAs元素を添加することが分かった。この際に添加するAs元素の量は、V族元素の組成比で1～2%程度でも十分な効果を得ることができる。この方法では、成長条件や使用する基板の面方位に影響されず効果が得られる利点がある。従って、請求項1の如きAsを組成に含んだAlGaInAsP材料を用いることで、界面の平坦性に優れたDBRを得ることができる。

【0031】図1は、請求項1記載の垂直空洞半導体面

発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。図1の垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、GaAs格子定数に対し1.4%の格子不整となるn-GaAsP基板102上に、n-GaAsPバッファ層103、n-AlInAsP/n-GaInAsPの積層構造からなるDBR104、アンドープAlGaInAsPクラッド層105、アンドープGaInP活性層106、アンドープAlGaInAsPクラッド層107、p-AlInAsP/p-GaInAsPの積層構造よりなるDBR108、GaInPスパイク防止層109、およびGaAsPコンタクト層110を順次MOCVD法(Metalorganic Chemical Vapor Deposition; 有機金属化学気相成長法)で成長した後、フォトリソグラフィによってレジストパターンを形成し、GaAsPコンタクト層からクラッド層107までのレジストが被覆されていない領域をエッチング除去してp型DBRをポスト状に加工する。DBR、クラッド層、スパイク防止層およびコンタクト層は基板に格子整合している。

【0032】この後、CVD法(Chemical Vapor Deposition法)によるSiO₂絶縁層111を堆積し、フォトリソグラフィによってp型DBR108上にレジストマスクの開口を形成し、開口領域のSiO₂絶縁層を除去した後、再びp型DBR108上にレジストマスクの開口を形成して、開口領域のGaAsPコンタクト層110を除去し、さらに、p型DBR108上に円形のレジストマスクを形成し、p側電極材料を蒸着した後、レジストマスク上の電極材料をリフトオフし、ドーナツ状のp側電極112を形成している。また、n側電極101は基板研磨の後、蒸着によって形成した。この後、アニールによってオーミック導通をとった。

【0033】この構成において、レーザ発振光は、ドーナツ状のp側電極112の開口部分から出射される。この際、GaAsPコンタクト層110は、発振光に対して透明でないで除去されている。DBRを形成する各層の厚さはそれぞれ $\lambda/4$ 光学距離に作製されている。また、活性層106を含むクラッド領域の厚さは $\lambda/2$ 光学距離の整数倍に形成されている。クラッド層に接するDBR構成層屈折率がクラッド層屈折率より小さい場合は、 λ キャビティ、これと逆の場合は $\lambda/2$ キャビティとなるように構成する。

【0034】本実施例の素子の活性層106は、635nmの発振光が得られる組成のGaInPを用いており、基板102からは圧縮歪み応力を受けている。また、クラッド層、DBRの一部にはAsを組成に含むAlGaInAsP、AlInAsPを用いている。V族元素に対するAs組成は2%である。本構成で成長表面にヒロックの発生がなく、均一な界面が形成された。これによってDBRの特性が向上し、発振閾値電流、および素子寿命などの素子特性が向上した。

【0035】(実施例2) 実施例2は、請求項2記載の

垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例である。請求項2記載の発明は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有する垂直空洞半導体面発光レーザ素子において活性層をGaInAsP半導体材料で構成したものであり、さらに具体的には、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、活性層をGa_yIn_{1-y}As_zP_{1-z} ($0 < y \leq 1, 0 < z \leq 1$) 半導体層から形成したものである。

【0036】請求項2記載の発明によれば、活性層がGaInAsPで構成されているので、Asの含有量によって発光波長、およびDBRに対する歪み量を調整することができる。

【0037】GaAsに格子整合するGaInPの波長は650nm程度であり、これより格子定数の小さいGaInPでは格子定数の減少に伴って短波となる。従ってGaInP活性層で長波長化を行うためには、Ga組成を小さくする必要があるが、この場合圧縮歪み応力が導入される。

【0038】GaInAsP活性層では、Asの増加によって、バンドギャップエネルギーを減少させることができる。この際、格子定数は大きくなるので、予めDBRに対して格子定数の小さいGaInPにAs元素を添加する手法を取ればよい。As元素によるバンドギャップエネルギーの変化は、これによって生じる歪みによるエネルギー変化、また、GaInPにおけるGa組成によるエネルギー変化に比べて大きいので、容易に長波長化でき、さらにDBRとの格子不整度も小さくすることができる。

【0039】例えば、Ga_{0.7}In_{0.3}P基板上に設けたGaInP活性層によって発振波長660nmを得るためには、活性層の組成はGa_{0.8}In_{0.2}P程度とする必要がある。この際、活性層の歪み量は約1.9%程度である。しかし、本実施例のように、Ga_{0.8}In_{0.2}As_{0.5}P_{0.5}活性層を用いれば、およそ半分程度の歪み量で波長660nmの発振光を得ることができる。活性層にGaInAsPを用いることにより歪みによる活性層の結晶性の劣化が低減する。これによって、同じ発振波長をGaInP活性層よりも少ない歪み量で得ることが可能になる。

【0040】さらに、DBRの格子定数をさらにGaPに近い値に設定できる。つまり、格子定数の減少によってAlInAsPの屈折率をさらに小さくすることができるので、AlInAsP/GaInAsP層の屈折率差は大きくなり、DBRの積層数を減少させることができる。

【0041】図2は、請求項2記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。同図において、n側電極201、n-GaAsP基板202、n-GaAsPバッファ203、n-AlInAsP/GaAsPからなるDBR204、AlGaInA

s Pクラッド層205、207、p-GaInPスパイク防止層209、p-GaAsPコンタクト層210、SiO₂絶縁層211、p側電極212が、実施例1(図1)の、n側電極101、n-GaAsP基板102、n-GaAsPバッファ103、AlGaInAsPクラッド層105、107、p-GaInPスパイク防止層109、p-GaAsPコンタクト層110、SiO₂絶縁層111、p側電極112に、それぞれ対応している。

【0042】図2の垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、活性層206の半導体材料をGaInAsPとして、実施例1と同様の方法、手順によって作製される。GaAsP基板202はGaAsに対して-2.0%の格子不整となるものを用いた。

【0043】また、クラッド層およびDBRの一部にはAsを組成に含むAlGaInAsP、AlInAsPを用いている。これによって、実施例1と同様に丘状欠陥の発生が抑制された。本実施例では、DBRの高屈折率材料としてGaAsPを用いている。実施例の基板格子定数を有するGaAsPは発振光に対して透明であるのでDBR材料として用いることができる。

【0044】また、本実施例の素子の活性層206は650nmの発振光が得られる組成のGaInAsPを用いた。Asを添加したことでGaInPを活性層材料に用いた実施例1の場合と比べ、活性層の歪み量が約1/2に低減されている。基板格子定数もGaPに近い値とすることが容易になっている。このため、DBRを構成する層の屈折率差を大きくすることができ、積層数は低減されている。活性層歪み量の低減により結晶性が向上し、DBR積層数低減により素子抵抗は減少した。

【0045】(実施例3) 実施例3は、請求項3記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例である。請求項3に記載された発明は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有する垂直空洞半導体面発光レーザ素子において、活性層の両側にGa_{1-y}In_yP (0.5<y≤1) 半導体層(キャリア閉じ込め層)を設けたものである。

【0046】前述したようにGaInP半導体材料は、格子定数の減少に伴ってバンドギャップエネルギーが増大する(図9参照)。従って、GaAsとGaPの間の格子定数を有するDBRに格子整合して作製されるGaInP層のバンドギャップエネルギーは630~650nm帯に対して大きく、活性層へのキャリア閉じ込め層として機能する。

【0047】AlGaInPのようにAlを含む半導体発光素子には、Al元素による非発光再結合、素子寿命、信頼性の低下の問題がある。このために、発光領域である活性層近辺に設けられる半導体層のAl含有量はより低いことが望まれる。しかし、レーザ発振の閾値電流密度を低減するためには、活性層よりもバンドギャッ

プエネルギーの大きな半導体層、該材料系の場合はAlGaInPをキャリア閉じ込め層とする必要がある。

【0048】このことは、従来の該材料系から構成される発光素子において共通の課題であるが、本発明のようにGaAsとGaPの間の格子定数ではGaInPによって効率よくキャリア閉じ込めを行えるので、活性領域をAl元素を含まないで形成することができる。よって上述の特性劣化を低減することが可能になる。

【0049】図3は、請求項3記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。同図において、n側電極301、n-GaAsP基板302、n-GaAsP基板303、n-AlInAsP/GaInPからなるDBR304、SiO₂絶縁層310、p側電極311が、実施例1(図1)の、n側電極101、n-GaAsP基板102、n-GaAsPバッファ103、n-AlInAsP/GaInPからなるDBR104、SiO₂絶縁層111、p側電極112に、それぞれ対応している。

【0050】図3の垂直空洞半導体面発光レーザ素子において、活性層306の半導体材料をGaInAsP、キャリア閉じ込め層305、307の半導体材料をアンドープGaInPとして、実施例1と同様の方法、手順でp-DBR308までを積層した後、p-GaInPコンタクト層309を積層し、フォトリソグラフィによってレジストパターンを形成し、GaInPコンタクト層からクラッド層306までのレジストが被覆されていない領域をエッチング除去してp型DBRをポスト状に加工している。

【0051】この後、CVD法によるSiO₂310を堆積し、フォトリソグラフィによってp型DBR上にレジストマスクの開口を形成し、開口領域のSiO₂を除去し、さらに、p型DBR上に円形のレジストマスクを形成し、p側電極材料を蒸着した後、レジストマスク上の電極材料をリフトオフし、ドーナツ状電極311を形成している。また、n側電極301は基板研磨の後、蒸着によって形成した。この後、アニールによってオーミック導通をとった。

【0052】DBRの一部にはAsを組成に含むAlInAsPを用いた。これによって、実施例1と同様に丘状欠陥の発生を抑制することができた。

【0053】(実施例4) 実施例4は、請求項4記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例である。請求項4に記載された発明は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、該分布ブラッグ反射器の上面に電極が設けられた垂直空洞半導体面発光レーザ素子において、電極と導通を取るための半導体層(コンタクト層)として、発振光に対して透明な半導体層を用いたものである。

【0054】請求項4記載の発明によれば、電極と導通をとるための半導体層(コンタクト層)が発振光に対し

て透明であるので、この半導体層による吸収損失を防止することができる。また、光取り出しのために前記半導体層を除去する工程が省略できる。前記半導体層の材料として、例えばGaAsP、GaInPなどが挙げられる。GaAsとGaPの間の格子定数では、GaInPは、630~660nm帯の光に対して透明であるので、基板に格子整合して得ることができる。

【0055】GaAsPはAs組成0.63程度以上では前記波長帯に対して吸収があるがこれ以下では透明であるので、このような組成では基板に格子整合して用いることができる。また、高濃度ドーピングはGaAsPの方が容易に行えるので、DBR、基板に格子整合して透明なGaAsP層を得ることができない場合は、歪みを有する発振光に対して透明なGaAsP層を用いてもよい。

【0056】また、本垂直空洞半導体面発光レーザ素子では、請求項4の実施例として、コンタクト層にp-GaInPを用いた(図3参照)。上記基板に格子整合するGaInPは発振光に対し透明であるので除去する工程が省略できる。

【0057】本実施例の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の活性層には635nmの発振光が得られる組成のGaInAsPを用いている。また、キャリア閉じ込め層は基板およびDBRに格子整合している。キャリア閉じ込め層は発振光に対して透明であって、さらにAl元素を組成に含まない。このように活性領域をAl元素を含まずに形成したことで、Al元素に起因する非発光再結合電流を低減することができた。また、Al元素に起因する結晶欠陥の活性層への移動、増殖も低減され、素子寿命、信頼性が向上した。

【0058】(実施例5) 実施例5は、請求項5記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例である。請求項5記載の発明は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有し、 $AlAs_zP_{1-z}$ ($0 \leq z \leq 1$) 半導体層を含んだ垂直空洞半導体面発光レーザ素子である。

【0059】請求項5記載の発明によれば、より少ない総数で高い反射率を有するDBRを得ることができる。GaAsとGaPの間の格子定数では、反射器の材料としてAlInPの他にAlAsP半導体材料を用いることができる。

【0060】AlAsPの屈折率は同じ格子定数のAlInP半導体材料と比較して小さいと見積もられる。これは材料的な性質の他に、主としてAlAsPの方が伝導体Γ点と価電子帯間のバンドギャップエネルギーが大きいことによる。従って、AlAsP/GaInPの積層構造によって形成されるDBRは、AlInP/GaInPの積層構造によるDBRと比べ少ない層数で高い反射率を得ることができる。従って、DBRによる素子抵抗を低減することができる。また、In元素を含ま

いことからAs組成が大きく、丘状欠陥の発生は完全に防止できる。

【0061】図4は、請求項5記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。同図において、n側電極401、n-GaAsP基板402、n-GaAsP基板403、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層405、407、p-GaInPコンタクト層409、SiO₂絶縁層410、p側電極411が、実施例3(図3)のn側電極301、n-GaAsP基板302、n-GaAsP基板303、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層305、307、p-GaInPコンタクト層309、SiO₂絶縁層310、p側電極311に、それぞれ対応している。

【0062】図4の垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、DBRを構成する層をAlAsP/GaInPとして実施例3と同様の方法、手順によって作製されている。しかし、本実施例の素子はDBR404、408として基板と格子整合する組成のAlAsP/GaInPを用いている点で実施例3の構成(図3のDBR304、308参照)と異なっている。同じ格子定数ではAlAsPの方がAlInPと比べ屈折率が小さいので、GaInP層との屈折率差を大きくすることができる。これによってDBRの層数を減らすことができ、素子抵抗を低減できる。また、AlAsP層と対にする他の半導体層はGaInP層以外であってもよい。例えば、AlGaAsPを用いれば、Ga原料の切り替えのみによってDBRの積層を作製することができ、作製工程を大幅に簡略化できる。

【0063】(実施例6) 実施例6は、請求項6記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例である。請求項6記載の発明は、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有する垂直空洞半導体面発光レーザ素子において、分布ブラッグ反射器を構成する半導体層の一部にAlAs_zP_{1-z} ($0 \leq z \leq 1$) 層を含み、このAlAsP層を選択酸化工程によって酸化し、電流狭窄構造を形成している。

【0064】この際、AlAsP層はDBRを構成する低屈折率層の全てではなく、一部であってもよい。活性層付近のみAlAsP層とし、その他の低屈折率層をAlInAsPとして選択酸化を行えば、活性層近辺にのみAlAsPによる酸化領域が形成され、素子抵抗を不必要に増加させることなく電流狭窄構造を設けることができる。

【0065】さらに、この際AlAsP層は他のDBR構成層と必ずしも格子整合している必要はなく、歪みを有していてもよい。DBRの一部にのみ用いられればよいので、AlAs層なども大きな結晶性の低下を生じずに用いることができる。

【0066】請求項6記載の発明によれば、閾値電流の小さな面発光半導体レーザ素子を得ることができる。請

請求項6記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子では、DBRを構成するAlAsPのIII族元素はAlのみであることから酸化させることが容易である。Alの酸化層は絶縁層として機能するので、電流通路を残して該半導体層を選択的に酸化させてDBR中に電流狭窄構造を作り込むことができる。これによってDBR中に電流狭窄構造を有する面発光レーザを容易に得ることができる。

【0067】図5は、請求項6記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。同図において、n側電極501、n-GaAsP基板502、n-GaAsP基板503、AlAsP/GaInPDBR504、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層505、507、GaInAsP活性層506、p-GaInPコンタクト層510、SiO₂絶縁層511、p側電極512が、実施例5（図4）のn側電極401、n-GaAsP基板402、n-GaAsP基板403、AlAsP/GaInPDBR404、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層405、407、GaInAsP活性層406、p-GaInPコンタクト層409、SiO₂絶縁層410、p側電極411に、

それぞれ対応している。

【0068】図5の垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、活性層側のp-DBR508を構成する層をp-AlAsP/GaInPとして実施例5（図4）と同様の方法、手順によってp-DBRをポスト状に加工した後、水蒸気雰囲気中において加熱し、エッチング端面からAlAsP層を酸化することで電流狭窄構造を設けている。この後、実施例5（図4）と同様の手順、方法により電極形成が行われる。

【0069】AlAsP層はIII族元素がAlのみであることからAlInAsPなどに比べて酸化されやすく活性層近辺のDBRのみ酸化が進む。DBR全体をAlAsP/GaInP層で構成してもよいが、不必要に素子抵抗を高くしないためにも、図5に示すように活性層に近い領域のみAlAsP/GaInP層とすることが望ましい。

【0070】また、活性層近辺の一部を選択酸化する場合には、AlAsP/GaInP積層構造の代わりにAlAs/GaInP積層構造としても結晶性を低下させることなく用いることができる。本実施例の垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、電流狭窄構造によって閾値電流を低減させることができ、その結果、素子特性を向上することが可能になった。

【0071】（実施例7）実施例7は、請求項7記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例である。請求項7記載の発明では、分布ブラッグ反射器がGaAsとGaPの間の格子定数を有する垂直空洞半導体面発光レーザ素子において、分布ブラッグ反射器と活性層の間にAlAs_zP_{1-z}（0 ≤ z ≤ 1）半導体層を含み、該AlAsP層が選択酸化工程によって電流狭窄構造を形

成していることを特徴としている。

【0072】この際、AlAsP層は他のDBR構成層と必ずしも格子整合している必要はなく、歪みを有していてもよい。10nm～20nm程度で十分効果が得られるので、AlAs層なども大きな結晶性の低下を生じずに用いることができる。

【0073】請求項6の説明で述べたように、AlAsP層は選択酸化によって絶縁層として機能する。請求項7記載の発明によれば閾値電流の小さな面発光半導体レーザ素子を得ることができる。

【0074】選択酸化層は活性層に近い程電流狭窄通過後の拡散による電流広がり小さくすることができる。よって、請求項7記載の発明によれば、高効率に電流狭窄を行うことができる。また、AlAsP層の選択酸化された領域は屈折率が小さくなることから光の横モード制御を行うことができる。

【0075】図6は、請求項7記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。同図において、n側電極601、n-GaAsP基板602、n-GaAsPバッファ603、AlInAsP/GaInPDBR604、611、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層605、607、GaInAsP活性層606、p-GaInPコンタクト層610、SiO₂絶縁層612、p側電極613が、実施例3（図3）のn側電極301、n-GaAsP基板302、n-GaAsP基板303、AlAsP/GaInPDBR304、308、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層305、307、GaInAsP活性層306、p-GaInPコンタクト層309、SiO₂絶縁層310、p側電極311に、それぞれ対応している。

【0076】図6の垂直空洞半導体面発光レーザ素子では、実施例3と同様の方法手順によってアンドープGaInPキャリア閉じ込め層607まで積層した後、p-AlAsP被選択酸化層608、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層609、p-GaInPコンタクト層610、アンドープAlInAsP/GaInPの積層構造よりなるDBR611を積層し、フォトリソグラフィによって円形のレジストマスクを形成し、DBR上層からGaInPコンタクト層610までの各層を順次エッチング除去し、DBR611をポスト状に加工している。

【0077】次に、フォトリソグラフィによってポスト状DBR611の周囲に円形のレジストマスクを形成し、GaInPコンタクト層610からGaInPクラッド層（キャリア閉じ込め層）607までの各層を順次エッチング除去した。次に水蒸気雰囲気中にて加熱し、AlAsP被選択酸化層608を端面から酸化させ、選択酸化領域による電流狭窄構造を設けた。この後、上記の実施例と同様の手順方法によって電極を形成した。

【0078】本実施例の垂直空洞半導体面発光レーザ素

子では、AlAsPの選択酸化構造により電流狭窄が行える。また、電流狭窄層が活性層606に近いことから、電流狭窄層通過後の電流広がり抑制することができ、さらに選択酸化部分と非酸化部分の屈折率差によって横モード制御を行うことができる。これによって素子の閾値電流は低減され、単一横モードで安定に発振した。

【0079】また、AlAsP被選択酸化層608の厚さは10nm~20nm程度と十分薄膜でよいので、AlAsP層の代わりにAlAs層を用いても結晶性を著しく低下させることはない。

【0080】また、以上の実施例は全て基板としてGaAsP基板を用いたが、GaInP基板を用いてもよく、GaAs基板などの上に、VPE法などによって組成傾斜層を積層して作製した後素子部を形成してもよい。

【0081】(実施例8) 実施例8は、請求項8記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例である。請求項8記載の発明は、GaAsとGaPの間の格子定数を有するAlGaInAsP半導体材料によるDBRを有する垂直空洞半導体面発光レーザ素子において、光出力を基板側DBRより取り出すことを特徴としている。

【0082】請求項8記載の垂直空洞半導体レーザ素子は、基板側を上面としたジャンクションダウンによって実装することができる。従って素子の放熱性が向上する。

【0083】図7は、請求項8記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。同図において、n側電極801、n-GaAsPバッファ803、AlInAsP/GaInPDBR804、808、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層805、807、GaInAsP活性層806、SiO₂絶縁層811、p側電極812が、実施例7(図6)のn側電極601、n-GaAsPバッファ603、AlInAsP/GaInPDBR604、611、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層605、607、GaInAsP活性層606、SiO₂絶縁層612、p側電極613に、それぞれ対応している。

【0084】図7の垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、半導体基板として、VPE法によってn-GaP母体基板813上にGaPからGaAsPへ徐々に組成を変化させたn-GaAsP組成傾斜層814、およびn-GaAsP厚膜を成長させたGaAsP基板を用いて作製されている。活性層806は、発振波長635nmのGaInAsP半導体材料とし、GaAsP基板813は活性層806よりもバンドギャップエネルギーが大きい組成を用いた。

【0085】本垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、実施例1と同様の手法、手順によりポスト部を形成し、p側オーミック電極812を形成した。素子裏面の基板表

面にメサ部にアライメントさせたレジストパターンを形成し、n側電極801を蒸着した後レジスト上電極材料のリフトオフを行った後、リフトオフ部へ発振波長の1/4光学厚さのSiO₂反射防止膜815を蒸着した。

【0086】GaP母体基板813および本実施例のGaAsP組成傾斜層814での発振光の吸収は無視できるので、光出射部の基板を除去する必要がなく製造工程を簡略化できた。また、本実施例では、半導体基板の例としてVPE法によるGaP母体基板813上のGaAsP基板(814, 803)を用いているが、他の製造方法によって作製されたものであってもよい。また、吸収のない基板としては他にもGaInP基板などを用いることもできる。

【0087】(実施例9) 実施例9は、請求項9および10記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例である。請求項9記載の発明は、GaAsとGaPの間の格子定数を有するAlGaInAsP半導体材料によるDBRを有する垂直空洞半導体面発光レーザ素子において、半導体基板としてGaAsP基板を用い基板側DBRと基板の間にGaInAsPエッチングストップ層を設けたものである。

【0088】請求項9記載の垂直空洞半導体レーザ素子によれば、請求項8と同様に基板側から光出力を取り出す様式の垂直空洞半導体レーザ素子において、発振光の吸収を生ずるGaAsPを基板として用いた際の光出射部分の基板除去工程を簡略化することができる。

【0089】GaAsPは、As組成0.63以上では630~660nmの光に対しては透明でない。従って用いる組成によっては発振光を吸収する場合がある。この場合、基板側から光出力を得るためには光出射部分の基板を除去する必要がある。GaAsP基板のエッチャントとしては硫酸系エッチャントなどが挙げられるが、これらのエッチャントはAlGaInAsPに対してもエッチング作用がある。このため、DBRが前記材料によって構成されている場合には素子部を侵食する場合がある。

【0090】しかし、As組成がGaAsP基板のAs組成よりも小さなGaInAsP半導体材料では、これらのエッチャントを用いた場合のGaAsP基板との選択性が高い。従って、DBR部と基板との間にGaInAsP半導体層をエッチングストップ層として設けることで素子部への侵食を防止することができる。

【0091】請求項10記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、GaAsとGaPの間の格子定数を有するAlGaInAsP半導体材料によるDBRを有する垂直空洞半導体面発光レーザ素子において、半導体基板としてGaAsP基板を用い、基板側DBRと基板の間にGaInPエッチングストップ層を設けたものである。

【0092】請求項10記載の垂直空洞半導体レーザ素子によれば、請求項8と同様に基板側から光出力を取り

出す様式のレーザ素子において、発振光の吸収を生ずるGaAsPを基板として用いた際の光出射部分の基板除去工程を簡略化することができる。

【0093】GaInAsPエッチングストップ層は、As組成が小さい程基板とのエッチング選択性が向上する。エッチングストップ層をGaInPとすることでエッチングの制御性をより向上させることができる。

【0094】図8は、請求項9および10記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。同図において、n側電極901、n-GaAsP基板902、n-GaAsPバッファ903、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層905、907、GaInAsP活性層906、SiO₂絶縁層910、p側電極911が、実施例7（図6）のn側電極601、n-GaAsP基板602、n-GaAsPバッファ603、アンドープGaInPキャリア閉じ込め層605、607、GaInAsP活性層606、SiO₂絶縁層612、p側電極613に、それぞれ対応している。

【0095】図8に示された垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、n-GaAsP半導体基板902とn-DBR904との間にn-GaInPエッチングストップ層912を設けて作製されている。n-GaAsP半導体基板902は、格子定数がGaAsに対して-1.4%歪みとなる組成を用いている。また、本実施例では、DBR904の低屈折率層をAlInAsP、高屈折率層をAlGaAsPとしている。また、活性層906として発振波長が650nmとなる組成のGaInAsPを用いた。

【0096】実施例1（図1参照）および実施例8（図7参照）と同様の手順によって、メサ部、電極を形成した後、硫酸系エッチャントによってGaInPエッチングストップ層912まで基板をエッチング除去した。硫酸系エッチャントは、DBR材料に対する選択性が低いために、エッチングストップ層を設けない場合は基板のみを除去することが難しかったが、本実施例ではエッチングストップ層912によって基板のエッチング残や、素子部への侵食がなくなり均一に制御性よく除去することができた。この結果、素子特性のばらつきがなくなり信頼性は向上した。

【0097】以上、垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例をいくつか説明したが、これらの垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、レーザプリンタ装置などの電子写真システムに应用することができる。次世代の高速、高精細電子写真技術では、赤色光源によるレーザアレイが重要な意味を持つと考えられる。この意味において、本発明の面発光レーザはアレイ集積化が容易であり、高性能な書き込みシステムを構築することができる。

【0098】また、本垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、光情報記録装置の光ヘッドとして应用することがで

きる。本発明の垂直空洞半導体面発光レーザ素子を用いることで、特に低動作電流での光読み出しおよび書き込みが可能になる。

【0099】また、本垂直空洞半導体面発光レーザ素子は、光インターコネクションなどへの光通信システムへの応用が可能である。特に石英ファイバーを用いたシステムより低コストなPOF（Plastic Optical Fiber）による近距離の光ネットワークでは、ファイバー材料であるPMMA（アクリル樹脂）の低損失帯に対応した波長650nmの低消費電力赤色面発光レーザが重要である。また、これの並列光伝送においては、赤色面発光レーザ素子が重要な意味を持っている。本素子を用いた光通信システムは高性能で高い信頼性を実現することが可能になる。

【0100】

【発明の効果】各請求項に記載された発明は、それぞれ、次のような効果を有している。請求項1記載の発明によれば、DBRをAsを組成に含んだAlInAsP層で構成したことにより、表面の丘状欠陥は完全に抑制された。As組成は、1%程度から十分な改善効果が得られる。これによって、丘状欠陥による光散乱損失がなくなり、到達反射率などの反射器特性が著しく改善された。よって、発振閾値は低減し、素子特性、素子寿命などの信頼性が向上した。

【0101】請求項2記載の発明によれば、活性層をGaInAsP半導体材料としたことにより、GaInP活性層を用いた場合と比べて同じ発振波長をより小さな歪み量で得ることができた。従って、成長表面のモフォロジは改善し、活性層の結晶性が向上した。これによって発光効率も改善された。また、素子設計の自由度が大きくなった。さらに、GaP（AlP）に近い格子定数を用いることができるので、より屈折率の小さなAlInAsPを用いることができる。これによってDBRの積層数は減少され、素子抵抗は低減した。

【0102】請求項3記載の発明によれば、活性層の両側にGaInP層を設けたことにより、Al元素に起因する非発光再結合中心を低減できるので発光効率が向上する。また、Al元素に起因した結晶欠陥の活性領域への移動、増殖なども低減されるため、素子寿命などの信頼性も向上した。

【0103】請求項4記載の発明によれば、電極と導通を取るためのコンタクト層を発振光に対して透明としたことにより、光出射領域のコンタクト層を除去する工程を省略することができた。従って、作製工程が簡略化された。

【0104】請求項5記載の発明によれば、同じ格子定数のAlInP半導体材料と比べ屈折率が小さいAlAsP半導体材料を用いたことにより、DBRを構成する他の半導体材料との屈折率差を大きくすることができ、これによって少ない積層数で高い反射率を得ること

10

20

30

40

50

ができ、閾値電流密度や素子抵抗が減少した。

【0105】請求項6記載の発明によれば、AlAsなどのAl元素を含んだ半導体原料を用いたことにより、酸化によって良質の絶縁体とすることができる。さらに、この際、被酸化層としては、Al組成が大きい程酸化が容易である。従って、III族原料としてAlのみしか含んでいないAlAsPはこの点で酸化が容易である。また、選択酸化層を成長するための特別な工程も不要である。AlAsP選択酸化構造による電流狭窄によって、レーザ発振の閾値は大幅に低減した。

【0106】請求項7記載の発明は、次のような効果を有している。一般に、活性層に注入される電流の狭窄の程度は、電流狭窄層と活性層の距離によって異なる。つまり、キャリア拡散によって電流狭窄層を通過したキャリアはキャリアの濃度勾配に比例して拡散する。

【0107】本請求項の発明は、AlAsP選択酸化層による電流狭窄構造をDBRと活性層の間に設けることによって、活性層部での電流広がりをより小さくする抑えることができる。さらに、選択酸化層が比較的活性層に近いことから、酸化部分と非酸化部分の屈折率差によって効率的に横モード制御が行える。実施例6の素子の閾値は低く、且つ基本横モードで安定して発振した。

【0108】請求項8記載の発明によれば、素子の放熱性が向上し発振閾値電流を低減することができる。また、スロープ効率などの諸特性も改善することができる。また、P組成の大きなGaAsP基板若しくはGaInP基板は発振光の吸収が無いので、これらを用いることによって基板除去工程を省略することが可能になった。

【0109】請求項9記載の発明によれば、GaAsP基板とDBRの間にGaInPエッチストップ層を設けることによって、GaInAsPを除くAlGaInAsP材料によって構成されたDBRの基板除去時の素子部侵食が防止できる。これによって、素子の歩留まり、信頼性を向上できる。

【0110】請求項10記載の発明によれば、エッチングストップ層をGaInPとすることにより、エッチングの制御性はより向上し、素子の歩留まり、信頼性が向上する。また、Asを組成に含まないので、630～660nm波長帯に対して吸収のないエッチングストップ層を容易に得ることが可能になった。

【0111】請求項11～14記載の発明によれば、高性能で信頼性の高い光システム（電子写真システム、情報記録装置、光通信システム）を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素

子の実施例を説明するための図である。

【図2】請求項2記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。

【図3】請求項3記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。

【図4】請求項5記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。

【図5】請求項6記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。

10 【図6】請求項7記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。

【図7】請求項8記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。

【図8】請求項9および10記載の垂直空洞半導体面発光レーザ素子の実施例を説明するための図である。

【図9】GaInP、AlInPの格子定数とバンドギャップエネルギーの関係を示す図である。

【符号の説明】

101, 201, 301, 401, 501, 601, 801, 901: n側電極、

102, 202, 302, 402, 502, 602, 902: n-GaAsP基板、

103, 203, 303, 403, 503, 603, 803, 903: n-GaAsPバッファ（基板）、

104, 108, 204, 208, 304, 308, 404, 408, 504, 509, 604, 611, 804, 808, 904, 908: DBR（分布ブラッグ反射器）、

105, 107, 205, 207: AlGaInAsPクラッド層、

106: GaInP活性層、

206, 306, 406, 506, 606, 806, 906: GaInAsP活性層、

109, 209: p-GaInPスパイク防止層、

110, 210, 810, 910: p-GaAsPコンタクト層、

111, 211, 310, 410, 511, 612, 811, 911: SiO₂絶縁層、

112, 212, 311, 411, 512, 613, 812, 911: p側電極、

305, 307, 405, 407, 505, 507, 605, 607, 805, 807, 905, 907: GaInPキャリア閉じ込め層、

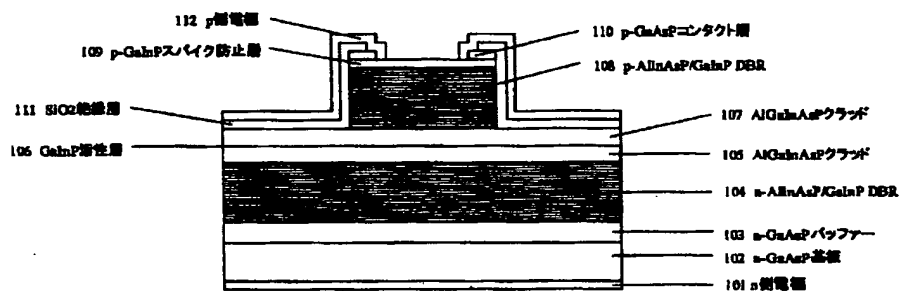
608: AlAsP被酸化層、

809: p-GaInPスパイク緩衝層、

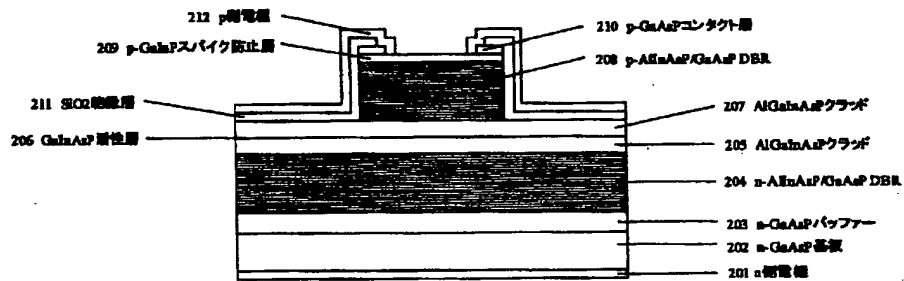
814: n-GaAsP組成傾斜層、

815: SiO₂反射防止膜。

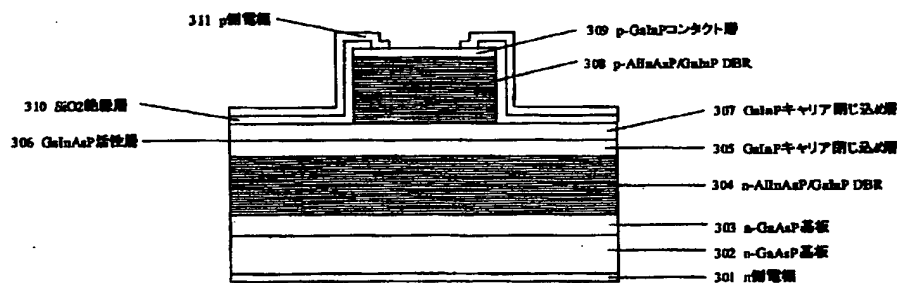
【図1】

実施例1

【図2】

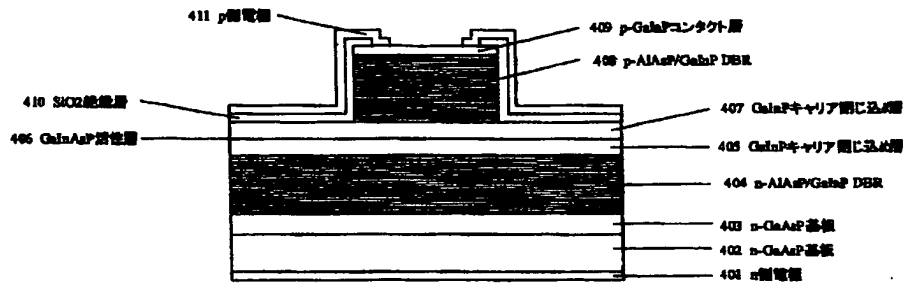
実施例2

【図3】

実施例3

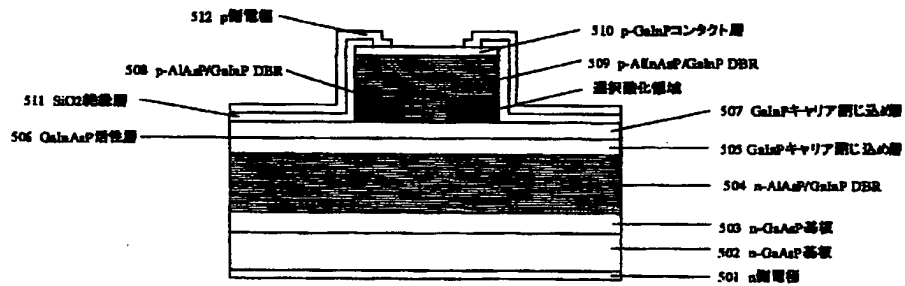
【図4】

実施例5



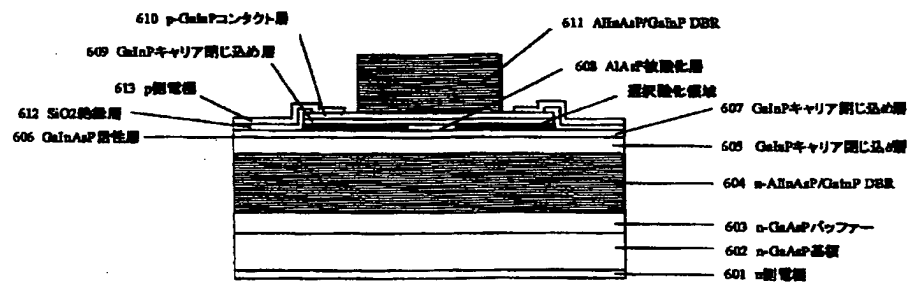
【図5】

実施例6



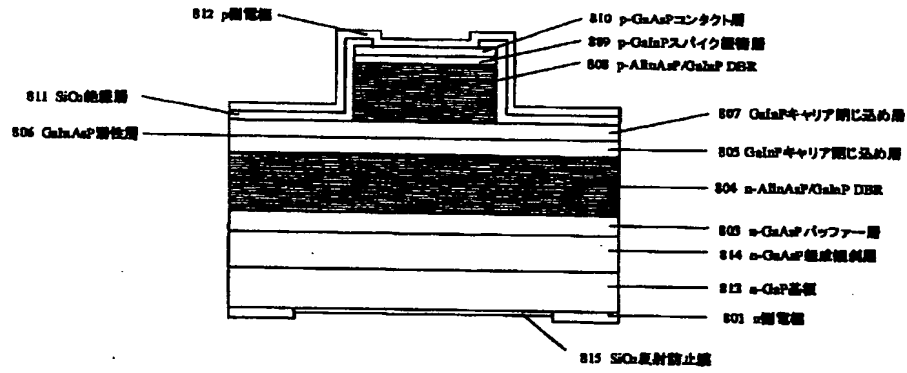
【図6】

実施例7



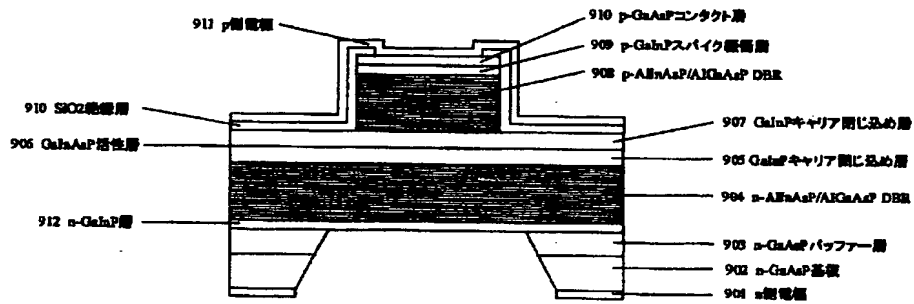
【図7】

実施例8

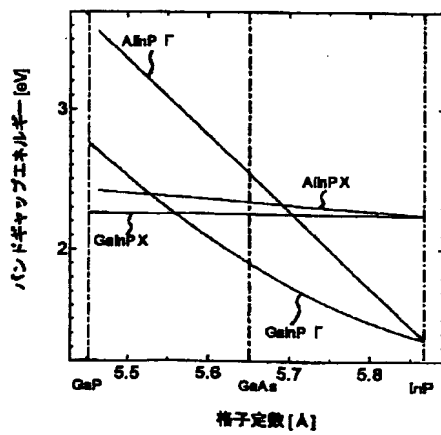


【図8】

実施例9



【図9】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.